

Desarrollo del conocimiento didáctico del contenido en el caso de la enseñanza de la carga eléctrica en Bachillerato desde la práctica de aula

Lina Viviana Melo Niño ^{1,a}, Florentina Cañada Cañada ^{1,b}, Vicente Mellado ^{1,c}, Andrés Buitrago ^{2,d}

¹*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Facultad de Educación, Universidad de Extremadura, Badajoz, España;* ²*Colegio San Viator, Bogotá, Colombia.*

^a*lina.viviana.melo@gmail.com* ^b*flori@unex.es*, ^c*vmellado@unex.es*, ^d*andres_buitrago@hotmail.com*

[Recibido en octubre de 2015, aceptado en enero de 2016]

La intención de este artículo es abordar las aportaciones más significativas sobre el desarrollo del conocimiento didáctico del contenido (CDC) para la enseñanza de las ciencias y de la física. Presentamos resultados generales de un estudio descriptivo de tipo cualitativo, en el que analizamos a través de un estudio de caso, el desarrollo del CDC sobre la carga eléctrica de un profesor de física colombiano de bachillerato con formación inicial en didáctica de la física. Las categorías consideradas fueron: orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias, conocimiento sobre el currículo, conocimiento sobre los estudiantes, conocimiento sobre la evaluación y conocimiento sobre las estrategias de enseñanza. Para la caracterización de cada componente se consideraron los datos analizados a través de Nvivo-10, y las descripciones dadas a estas componentes desde los modelos de enseñanza en didáctica de las ciencias experimentales. Los resultados que presentamos, muestran que a diferencia de las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias, en sus categorías idea de física y carga eléctrica, las tendencias que describen mayoritariamente el resto de componente del CDC no evidencia cambios significativos después de la intervención.

Palabras clave: Conocimiento Didáctico del Contenido; Enseñanza de la carga eléctrica; Formación de Profesores de física.

Pedagogical Content Knowledge Development in the case of the electric charge teaching in high school from classroom practice

The intent of this article is to approach the significant contributions on the development of pedagogical content knowledge (PCK) in science and physics teaching. We present general results of a qualitative study, which we analyzed through a case study, the development of PCK on the electric charge of a Colombian High School Physics Teacher. He has basic training in physics education. The categories were: orientations toward science teaching, knowledge of curriculum, knowledge about students, knowledge on assessment and knowledge of teaching strategies. For the description of each component, we use Nvivo-10, and the descriptions given to these components from teaching models. The results show that the PCK in action is increasingly drawn to the extent that the teacher acquires more confidence and understanding of the content he teaches, and reviews his teaching practices, plans or creates new forms of teaching performance. However, there is no direct causal effect between changes in the orientation component and teaching strategies and objective.

Keywords: Pedagogical Content Knowledge; Electric Charge Teaching; Training Physics Teacher.

Para citar este artículo: Melo Niño, L.V., Cañada Cañada, F., Mellado, V., Buitrago, A. (2016) Desarrollo del Conocimiento Didáctico del Contenido en el caso de la enseñanza de la Carga Eléctrica en Bachillerato desde la práctica de aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (2), 459-475. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18300>

A Andoni Garritz, in memoriam

Introducción

En los últimos 20 años el conocimiento didáctico del contenido (CDC) ha sido el sustento y la heurística de muchas investigaciones sobre la formación y el desarrollo profesional de los profesores de ciencias. Este conocimiento se ha estructurado y construido a partir de

conocimientos de diferente origen y naturaleza, aunque son cada vez las investigaciones que lo definen desde las didácticas específicas. Aunque no hay un modelo generalizado y único que describa este tipo de conocimiento, las investigaciones coinciden en que el CDC es un conocimiento específico sobre la forma de enseñar un contenido, con tres fuentes en las distintas etapas de la vida del profesor: los antecedentes escolares, la formación inicial y la experiencia profesional (Friedrichsen *et al.* 2009).

El profesor construye el CDC en el ejercicio profesional, pero su formación se inicia durante el proceso de formación inicial y se ve altamente influenciado por sus experiencias y recuerdos como estudiante, así como por sus creencias, concepciones, valores y emociones (Mellado *et al.* 2014, Garritz y Mellado 2014). El CDC no es simplemente una mezcla de los diferentes conocimientos académicos, sino que, a partir de la reflexión-en-la-acción y de la reflexión-sobre-la-acción de enseñar una materia específica, en contextos escolares concretos, el profesor transforma e integra los distintos conocimientos, en un proceso activo y dinámico (Alonzo y Kim 2015, Alvarado *et al.* 2015).

La mayoría de los modelos sobre el CDC toman como referencia el trabajo presentado por Magnusson *et al.* (1999), donde se consideran cinco componentes para describir el CDC de los profesores de ciencias: orientaciones y concepciones sobre la enseñanza de las ciencias; conocimiento curricular; conocimiento del aprendizaje y sobre las ideas de los estudiantes; conocimiento sobre las estrategias de enseñanza; y conocimiento de la evaluación (Acevedo 2009a, 2009b).

La agenda actual sobre esta línea de investigación, se centra en el proceso de desarrollo del CDC mediante investigaciones empíricas que intentan mostrar cómo se conectan los diferentes aspectos de este conocimiento y cómo puede influir una componente en el crecimiento de las otras. Su repercusión inmediata se da en la estructura de los cursos de formación del profesorado (Michellini *et al.* 2013), al intentar propiciar espacios de reflexión sobre el CDC de los contenidos curriculares que se enseñarán y una mayor vinculación entre la teoría y la práctica.

La intención de este artículo es abordar las aportaciones más significativas sobre el desarrollo del conocimiento didáctico del contenido (CDC) para la enseñanza de las ciencias. Finalmente, presentamos resultados generales de un estudio descriptivo de tipo cualitativo, en el que analizamos a través de un estudio de caso, el desarrollo del CDC sobre la carga eléctrica de un profesor de física colombiano de bachillerato con formación inicial en didáctica de la física.

El Desarrollo del CDC y la Formación del Profesorado

El conocimiento didáctico del contenido es el núcleo integrador del conocimiento profesional del profesor. La naturaleza dinámica del CDC dibujada a partir de los estudios descriptivos, ha proporcionado mayores lazos de relación entre la formación del profesorado bajo paradigmas constructivistas y el desarrollo del CDC. Existe una alineación entre las investigaciones que buscan cambios en el CDC y los programas de formación y desarrollo profesional del profesorado, puesto que se asume la construcción del conocimiento profesional del profesor desde dimensiones integradores y transformadoras, a través de metas comunes que buscan una vinculación más directa entre la teoría, la reflexión y la práctica.

La revisión realizada sobre el desarrollo del CDC vincula estudios realizados con profesores en formación y con experiencia, de distintos niveles educativos. Los estudios analizados corresponde a las investigaciones que reportan cambios en el CDC siguiendo el modelo de Magnusson *et al.* (1999) y proponen modelos del desarrollo del CDC. En ambos casos nos concentraremos en describir los factores que influyen en el desarrollo del CDC.

Los estudios que se encargan de describir los cambios del CDC, conciben el proceso de configuración del CDC, como un proceso integrador e individual arraigado a la práctica (van Driel *et al.* 2002), que requiere ser guiado por experiencias de enseñanza-aprendizaje a través de espacios de reflexión que permitan encuentros entre la teoría y la práctica.

En cuanto a los factores que influyen en el cambio, Cohen y Yarden (2009) analizando en Israel el CDC de un grupo de profesores de bachillerato, diez años después de la implementación de un nuevo currículo, sobre los contenidos de célula y la relación macro y micro, concluyen que el desarrollo del CDC depende tanto de factores internos como externos. Entre los factores internos se encuentran: desarrollo profesional en cuanto a los conocimientos disciplinares que se enseñan; la experiencia docente; los hábitos de enseñanza; el conocimiento sobre el plan de estudios; y su percepción sobre la eficacia de su enseñanza. Los factores externos fueron: los contenidos establecidos en el currículo nacional; los programas de desarrollo profesional; y el sistema de evaluación nacional.

Aunque la clasificación de factores internos y externos para describir las causas del desarrollo del CDC sólo es utilizada por Cohen y Yarden (2009), los elementos que propician cambios se replican en otras investigaciones, independientemente del contenido que se enseñe y de la experiencia profesional del profesorado. Este es el caso de, De Jong y van Driel (2004), y van Driel *et al.* (2002), quienes investigando sobre temas relacionados con fenómenos macro-micro y la relación con la naturaleza de la disciplina, a través de cursos de formación para futuros profesores de química, señalan el papel de la experiencia docente.

En esta misma línea, Appleton (2008) en un estudio de caso de dos profesoras de primaria con diez años de experiencia docente, concluyen que un incremento en la auto-confianza sobre el contenido que se enseña influye positivamente en el desarrollo del CDC. De Jong y van Driel (2004), van Driel *et al.* (2002) refuerzan esta idea, indicando como la carencia en el conocimiento sobre la disciplina que se enseña influye negativamente en la configuración del CDC.

Con relación a la estructura y naturaleza de los programas de desarrollo profesional, Appleton (2008), De Jong y van Driel (2004) y Hume y Berry (2013) señalan el papel de la tutorización en los procesos de desarrollo del CDC, uno de los factores externos citados por Cohen y Yarden (2009). Appleton (2008) se decanta por la tutorización individualizada durante la planificación y la acción, mientras Hume y Berry (2013) y Rozenszajn y Yarden (2013), entremezclan sesiones de tutorización individualizadas y grupos de discusión. Todos estos autores subrayan la importancia del trabajo colaborativo entre el profesorado. Vázquez *et al.* (2012), por ejemplo, encuentran que el trabajo con otros profesores, a través de la investigación-acción, es el elemento detonante para el desarrollo de procesos de complejización del CDC.

De forma específica, otras investigaciones se centran en describir los factores que influyen en el desarrollo particular de una componente del CDC, sin pretender que, una modificación particular en una componente del CDC, suponga un cambio general en todo el CDC. Al respecto Orleans (2010), evaluando los cambios en el CDC de nueve profesores de física filipinos de secundaria, sobre la enseñanza de la radioactividad y la energía nuclear, encuentra que el conocimiento sobre el currículo y el conocimiento sobre los estudiantes son los que arrojan mayores indicadores de cambio. Estos cambios se deben al diseño de un programa de desarrollo profesional flexible, que incluye los intereses de los profesores.

En cuanto a las investigaciones centradas en los modelos para el desarrollo del CDC, que contempla la segunda parte de nuestra revisión, resaltamos el trabajo de Abell *et al.* (2008). La característica esencial del trabajo de Abell *et al.* (2008) es que cada etapa del programa de

formación propuesto para los futuros profesores, realiza énfasis en una componente del CDC, a través del siguiente orden: conocimiento sobre las estrategias de enseñanza, conocimiento curricular, conocimiento sobre la evaluación y conocimiento sobre los estudiantes. Los resultados de este estudio, indican que tanto los profesores expertos que ayudan al futuro profesor a desarrollar su CDC, como los futuros profesores, desarrollan su CDC.

Finalmente, la mayoría de las investigaciones que vinculan los cambios del CDC, especialmente en el caso de la enseñanza de la física, se han centrado en lo que los profesores piensan o dicen que hacen, dejando de lado la actuación en el aula. Por tanto, documentar el CDC en y sobre la acción, sobre distintos contenidos para la enseñanza de la física, sigue siendo una tarea por realizar. A continuación describiremos el estudio que hemos desarrollado sobre el desarrollo del CDC con un profesor de física de bachillerato sobre la enseñanza de la carga eléctrica desde las observaciones de clase.

Problema de investigación

Nuestro trabajo forma parte de un estudio más amplio que analiza la evolución del CDC de profesores de física colombianos durante dos cursos consecutivos (2010-2011 y 2011-2012), antes y después de un programa de intervención, considerando lo que los profesores declaran, lo que planifican y lo que hacen en el aula, en la enseñanza del campo eléctrico. El presente artículo se centra en la caracterización del CDC de uno de los profesores participantes sobre lo que hace en el aula en la enseñanza de la carga eléctrica. En consecuencia los objetivos del estudio son:

1. Describir los cambios del Conocimiento Didáctico del Contenido en la práctica del aula sobre la carga eléctrica de un profesor de física de bachillerato.
2. Identificar los obstáculos al desarrollo y cambio del CDC.

Metodología

Las investigaciones sobre el CDC han sido de carácter descriptivo, centrado en metodologías cualitativas como los estudios de casos o la teoría fundamentada. Nuestra investigación se sitúa dentro de los marcos metodológicos de la investigación cualitativa, especialmente los estudios de caso, aunque en algunos aspectos consideramos elementos de la investigación cuantitativa.

Las múltiples fuentes de obtención de datos, empleados en los procesos de conceptualización del CDC en ciencias, han sido recopiladas por Kind (2009). Entre ellas señalamos las entrevistas, observaciones de aula, diarios de campo, informes, y análisis de las planificaciones, uso de viñetas, análisis de vídeos y rúbricas especialmente diseñadas para obtener y caracterizar el CDC.

En nuestro estudio los procedimientos de recogida de datos que se utilizaron para caracterizar el CDC fueron las observaciones de clase en vídeo, el diario del profesor y sus reflexiones después de cada clase. Durante los años 2010-2011 se realizaron 5 observaciones de clase. El segundo año de investigación, 2011-2012, fueron grabadas 6 sesiones de clase, todas ellas de una duración de 50 minutos. Las observaciones fueron transcritas y posteriormente una copia fue entregada al profesor para su posterior validación. Para determinar las razones del cambio, utilizamos entrevistas semiestructuradas antes y después de las observaciones de clase, los diarios de campo y los registros etnográficos correspondientes a las sesiones del proceso de intervención.

Participante

En nuestro estudio los profesores no son sujetos que proveen datos, sino que han sido partícipes del proceso investigativo. La investigación se desarrolló con un profesor licenciado en física, con edad de 30 años y experiencia docente de ocho años. Su formación incluye conocimientos sobre la didáctica de la física. El profesor trabaja en una institución educativa de carácter privado en la ciudad de Bogotá en bachillerato y sus estudiantes tienen edades entre los 15 y 19 años.

Análisis de la Información

La sistematización de los datos y su análisis se realiza siguiendo las técnicas de análisis de contenido, que incluye los siguientes pasos (Solís *et al.* 2012): i) identificación de las unidades de información procedente de cada instrumento utilizado para recolectar los datos; ii) codificación de las unidades de información en las categorías y subcategorías; iii) categorización de las unidades de información; iv) análisis de las unidades de información; v) incorporación de categorías emergentes a la descripción del CDC a partir de los análisis realizados.

Para realizar la identificación de las unidades de información, realizamos sucesivas lecturas de todos los instrumentos, tanto para el primer año de investigación, como para el segundo a través del software de análisis de datos cualitativos Nvivo 10. Recurriendo al contenido manifiesto, con el fin de mantener los parámetros de fiabilidad y verificabilidad, ubicamos sucesivamente en cada categoría las unidades de información correspondientes.

Para desarrollar el esquema de categorización, se tomó como base el modelo de Magnuson *et al.* (1999). Las categorías consideradas fueron: A) orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias, B) conocimiento del currículo, C) conocimiento sobre las dificultades de aprendizaje de los estudiantes, D) conocimiento sobre la evaluación y E) conocimiento sobre las estrategias. En el [anexo 1](#) se muestra el sistema de categorías final y la plantilla de registro utilizada para facilitar el proceso de codificación.

Para la descripción de cada categoría se consideraron las descripciones dadas por los modelos de enseñanza en didáctica de las ciencias experimentales (Jiménez-Aleixandre 2000, Porlán *et al.* 2011, entre otros). De acuerdo con los trabajos de Bañas *et al.* (2011), con profesores de ciencias de secundaria, hemos adoptado dos tendencias básicas y una intermedia: la tendencia tradicional centrada en el profesor y la tendencia constructivista centrada en los estudiantes.

Para las categorías relacionadas con los obstáculos al desarrollo y cambio del CDC analizamos las descripciones explícitas que el profesor realiza, sobre sus tendencias de acción, y las valoraciones de las situaciones vividas antes, durante y después de la intervención. Los obstáculos más citados por el profesor para cada categoría del CDC fueron: diseño de las actividades de enseñanza (OBST-1); control de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes (OBST-2); nivel de conocimiento del contenido que se enseña (OBST-3); los parámetros estipulados por la institución educativa (OBST-4).

Intervención

La decisión de los aspectos trabajados se consensuaron con el profesor según sus intereses desde tres fuentes: las reflexiones teóricas sobre la enseñanza de la carga, fuerza y campo eléctrico y las componentes del CDC, los intereses y dificultades del profesor sobre la enseñanza de la electrostática y el análisis global de los datos, los cuales nos permitieron idear un perfil general del CDC del profesor. La intervención con el profesor se centró en los tres

aspectos: i) reuniones formativas, ii) análisis con el profesor de la observación de las clases, la planificación de las clases y la entrevista, iii) la preparación de la nueva unidad didáctica sobre la enseñanza de la electrostática.

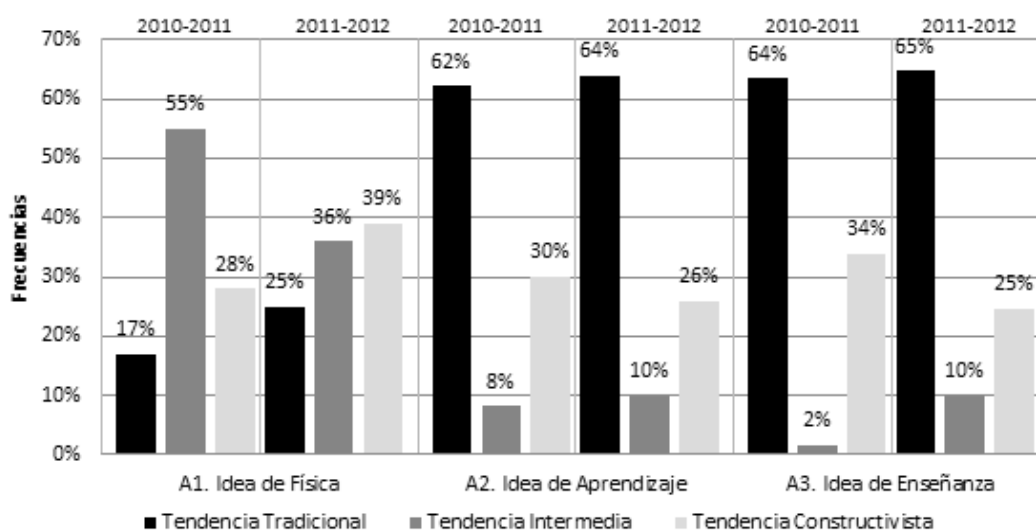
Resultados

Para presentar los resultados que describen los cambios en el CDC sobre la carga eléctrica, presentaremos las características del CDC antes y después de la intervención, considerando las componentes del CDC, tal como se muestra en el [anexo 1](#): las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias (A), el conocimiento del currículo (B), el conocimiento sobre las dificultades de los estudiantes (C), el conocimiento sobre la evaluación (D) y el conocimiento sobre las estrategias de enseñanza (E). Finalizaremos describiendo las posibles causas del cambio y los obstáculos para el desarrollo del CDC.

A. Orientaciones sobre la Enseñanza de las Ciencias

Las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias describen las ideas que el profesor tiene sobre la física (A1), el aprendizaje (A2), la enseñanza (A3).

Frente a la idea de física del profesor (A1), hay una presencia de todas las tendencias durante los dos años como se muestra en la gráfica 1. Sin embargo sobresale la tendencia intermedia durante el primer año. La gráfica 1 ha sido construida contabilizando la frecuencia total de todas las unidades de análisis clasificadas para cada tendencia. En negro simbolizamos la tendencia tradicional, en gris la intermedia, y en gris claro la constructivista.



Gráfica 1. Orientaciones sobre la Enseñanza de las Ciencias

El profesor es consciente del tipo de categorías que utiliza para describir lo que considera que es la física durante sus clases y muchas de ellas no mantienen una correspondencia lineal con lo que declara. Dentro del 17% que representa la tendencia tradicional para el primer año, se encuentran unidades de información que evidencian, el uso constante del experimento como medio para confirmar la teoría.

En el 55% de las unidades que dan cuenta de la tendencia intermedia, hemos agrupado aquellas intervenciones donde el profesor muestra una física como producto que depende de la condiciones sociales y económicas en la que se gesta. También incluimos todas aquellas donde insiste en la importancia de la observación como primer medio para elaborar explicaciones y como principal lenguaje para describir la interacción entre cuerpos cargados.

Finalmente el 28% que da cuenta de la tendencia constructivista, se centra en la presentación de la utilidad de la física y su relación con el mundo cotidiano del estudiante. Después de la intervención, hay un incremento considerable de tendencia tradicional y constructivista y un descenso en la tendencia intermedia. Los resultados de las evaluaciones de los estudiantes son el elemento que media el interés por mostrar una física más cercana a la tendencia constructivista.

En cuanto a la idea de aprendizaje (A2), durante los dos años de la investigación mantiene una concepción cercana a la tradicional con un 62% de las unidades clasificadas durante el primer año y un 64% el segundo año. Durante la práctica del aula se muestra una imagen del profesor como dueño del conocimiento y de la participación como iniciativa de los estudiantes sin verdadera interacción.

Los matices de la tendencia intermedia se centran en el cómo se aprende con una representación del 8% el primer año y un 10% el segundo año. Se mantiene la idea de que «se aprende haciendo». Sin embargo durante el desarrollo de sus clases, mantiene rutinas basadas en el diálogo socrático que no contribuyen a la intención de la construcción de explicaciones por parte de sus estudiantes. El 30% restante que da cuenta de la tendencia constructivista en la cual sobresale la idea de razonar más que memorizar. También incluimos en esta tendencia las acciones en las cuales el profesor considera los conocimientos previos de los estudiantes.

En concordancia con la idea de aprendizaje (A2), la idea de enseñanza (A3) que muestra en su práctica de aula es definida por la tendencia tradicional, centrada en la rutina profesor pregunta, estudiante responde como medio para propiciar la asimilación y elaboración de explicaciones, con un 64% de unidades clasificadas durante el primer año y un 65% el segundo año después de la intervención. La idea de enseñanza, además, presenta matices de la tendencia constructivista con un 34% durante el primer año y un 25% el segundo año. Pertenecen a esta tendencia los objetivos de enseñanza que vincula la presentación de los contenidos para mostrar la relación entre lo cotidiano y la física que se explica. Para el profesor la disminución en la tendencia constructivista y el incremento en la intermedia el segundo año se debe al ejercicio de planificación e implementación de acciones más centradas en los estudiantes.

B. Conocimiento sobre el Currículo

Para describir esta categoría utilizamos cuatro subcategorías: contenidos (B1), organización de los contenidos (B2), fuentes y recursos (B3) y objetivos de aprendizaje (B4). En la tabla 1 presentamos un resumen de las unidades clasificadas.

En cuanto al contenido (B1), el profesor utiliza dos visiones sobre la carga eléctrica. La primera de ellas, es una *«visión de la carga como cuerpo puntual»* donde se limita a describir los distintos fenómenos en términos de si los cuerpos tienen carga positiva, negativa o neutra, sin ahondar en lo que significa estar cargado positiva o negativamente. La otra visión, devela el carácter de *«estar cargado en términos de partículas»*, bien sean protones o electrones; y se presenta la carga como una característica de los cuerpos. La idea de la acumulación de carga y el desequilibrio eléctrico, son elementos sobresalientes en esta descripción sobre la carga.

Tabla 1. Frecuencia de unidades proposicionales sobre el Conocimiento Curricular

Categorías	Aspecto Observado	Frecuencia	
		2010-2011	2011-2012
B1. Contenidos	Conceptuales	56	46
	Procedimentales	20	30
	Otros	10	10
B2. Organización de los contenidos y su importancia	Secuencia Lineal	5	5
	Relación con otros contenidos	13	12
	Contenido Contextualizado	10	18
	Permite comparar las ideas de los estudiantes con las científicas	2	6
B3. Fuentes y Recursos	Otras Fuentes	5	6
	Estudiantes	58	114
	Libro de Texto	2	1
	Profesor	39	105
B4. Objetivos de Aprendizaje	Conceptuales	10	9
	Procedimentales	4	4
	Actitudinales	2	2

En cuanto a la organización de los contenidos (B2), la secuencia temática es lineal y el hilo estructural va de lo «simple» (carga eléctrica) a lo «complejo» (circuitos eléctricos). Sin embargo, para el profesor también es fundamental la incorporación de hechos cotidianos y la necesidad por mostrar la aplicabilidad de lo enseña y su relación con otras disciplinas (B4).

Con relación a las fuentes y recursos que emplea en el aula (B3), la mayoría de las intervenciones de los estudiantes en las que aportan información, son por requerimiento del profesor. De hecho, es el profesor quien aporta la mayor parte de la información, a través de explicaciones y preguntas.

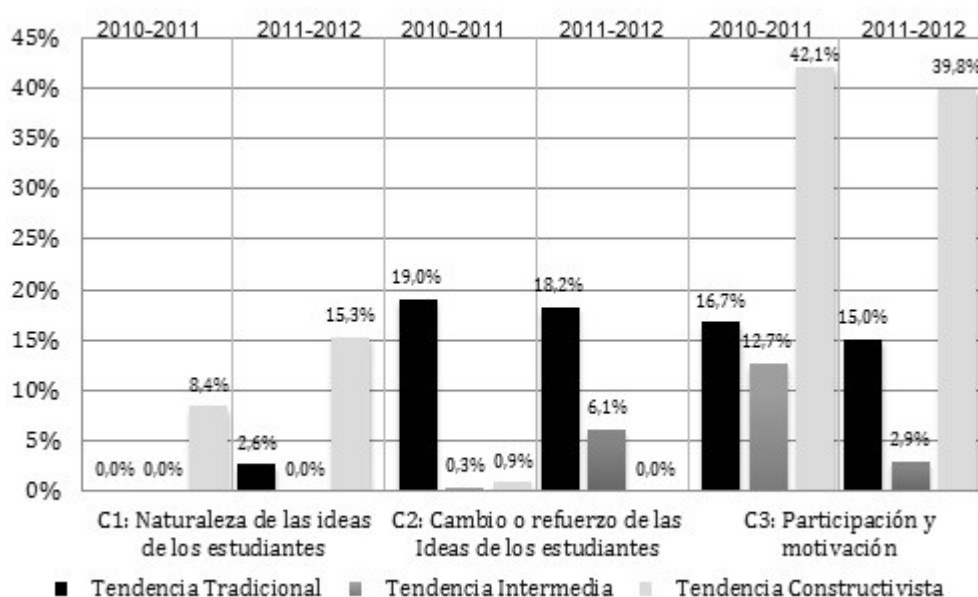
Durante el segundo año el profesor realiza un mayor énfasis en la observación (B1). Solicita a los estudiantes que, a partir de las experiencias de electrificación por frotación, expliquen el por qué sucede lo que visualizan antes de ser el profesor el que dé la respuesta. Esto se evidencia en el incremento de las unidades de información relacionadas con los contenidos procedimentales, aunque dicho cambio no ocasione modificación en los objetivos de aprendizaje centrados en los contenidos (B4).

Las experiencias demostrativas, como fuente de información en el aula (B3), son el principal factor que incluye nuevas dinámicas en el aula. También lo es la modificación del eje de su patrón temático (B2), posicionando a la carga como causa y efecto de los fenómenos eléctricos, aunque el hilo estructural siga privilegiando la mirada de lo simple a lo complejo. En términos generales la tendencia tradicional se mantiene también durante el segundo año.

C. Conocimiento sobre los Estudiantes

La categoría sobre el conocimiento sobre los estudiantes hace referencia al conocimiento que deben tener los profesores de sus estudiantes para ayudarlos a desarrollar las metas de aprendizajes dispuestas y construir los conocimientos científicos seleccionados. Los aspectos analizados fueron: naturaleza de las ideas de los estudiantes (C1), cambio o refuerzo de las ideas de los estudiantes (C2) y participación y motivación (C3).

Durante los dos años prevalece la tendencia constructivista con relación a la naturaleza de las ideas de los estudiantes (C1), la participación y la motivación (C3), y la tendencia tradicional da cuenta del cambio o refuerzo de las ideas de los estudiantes (C2) como se muestra en la gráfica 2.



Gráfica 2. Conocimiento sobre los Estudiantes para la enseñanza de la Carga Eléctrica

El profesor señala la intención de diálogo continuo y su ideal de que los estudiantes construyan explicaciones. Por esta razón, incluye experiencias demostrativas que apoyan su explicación y propone distintos ejemplos o situaciones para propiciar la participación. Sin embargo, utiliza un bombardeo continuo de preguntas de distinto contenido y dificultad que hace que en algunas ocasiones se pierda el sentido del contenido de la pregunta y la participación sea solo por parte del profesor. Por otro lado, un gran descriptor de la tendencia tradicional se centra en la intención del profesor de corregir las ideas de los estudiantes, más que propiciar estrategias para el cambio conceptual en función de su objetivo primordial, que es la construcción de explicaciones.

Las ideas alternativas que identifica el profesor durante las clases (C2) son aquellas donde sus estudiantes asumen carga como energía; consideran el estado de electrificación neutro como un tipo de carga (Furió y Guisasola 1998) y asumen cambios en la composición química al ceder o transferir electrones durante los procesos de electrificación.

C. Conocimiento sobre la Evaluación

Los descriptores utilizados para describir esta categoría fueron: finalidad de la evaluación (D1); objeto de la evaluación (D2); tipo de evaluación (D3); diseño de la evaluación (D4); y calificación (D5). En la tabla 2 presentamos un resumen de las unidades clasificadas en esta categoría.

Tabla 2. Frecuencia de unidades proposicionales sobre el Conocimiento de la Evaluación

Categorías	Frecuencia 2010-2011			Frecuencia 2011-2012		
	TT	TI	TC	TT	TI	TC
D1. Finalidad de la Evaluación	14%	0%	1%	13%	0%	0%
D2. Objeto de la Evaluación	18%	3%	19%	19%	3%	16%
D3. Tipo de Evaluación	2%	0%	0%	1%	0%	0%
D4. Diseño de la Evaluación	18%	6%	9%	17%	7%	13%
D5. Calificación	7%	0%	3%	10%	0%	1%
TT: Tendencia Tradicional; TI: Tendencia Intermedia; TC: Tendencia Constructivista						

Con relación a la finalidad (D1), el tipo de evaluación (D3) y el diseño (D4), muestra una tendencia tradicional. Es decir, el profesor indica a sus estudiantes que la finalidad de la evaluación es la de verificar la comprensión de los contenidos enseñados, pero además indica que es una oportunidad de aprendizaje y va más allá del buen uso de la memoria, por ese motivo incluye en los exámenes las ecuaciones. Frente al objeto de la evaluación (D2), describe tanto la tendencia tradicional como la constructivista, porque además de evaluar los contenidos conceptuales y procedimentales, contempla los actitudinales a través de instrumentos como la coevaluación y autoevaluación.

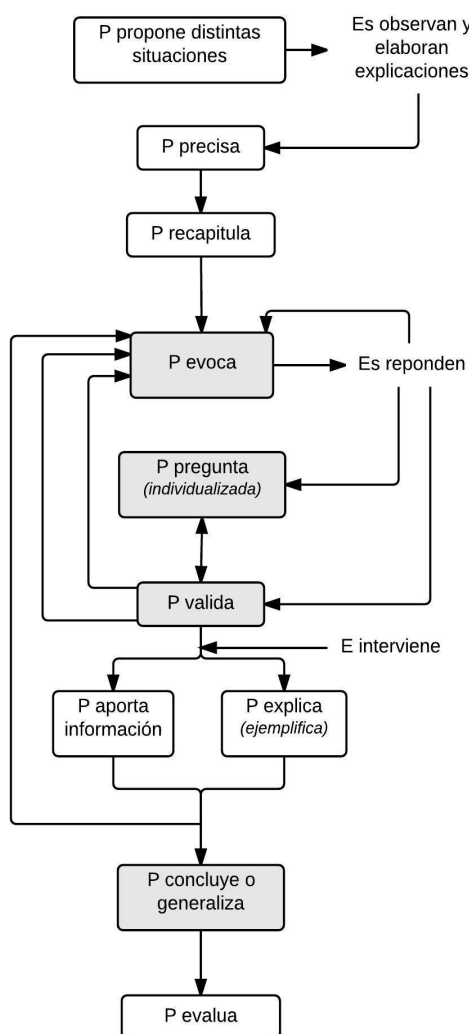
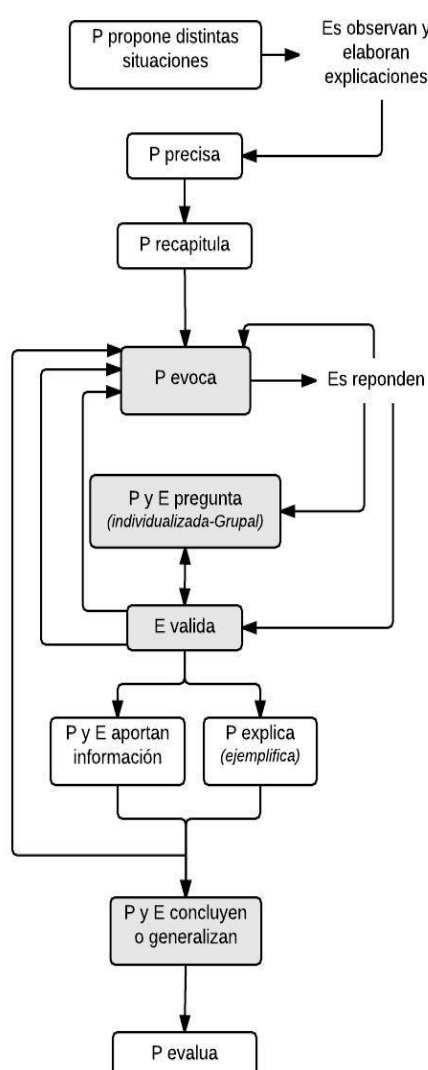
Categorías como la D3 y la D5 son de las que menos habla el profesor, es decir de la calificación y el tipo de evaluación, que se asume está dado por la institución, y ya que es compartido por el resto de profesores de ciencia de la institución educativa, no es elemento de discusión.

En términos generales, el primer año un 59% de las unidades clasificadas dan cuenta de la tendencia tradicional y un 33% de la tendencia constructivista. El segundo sin grandes variaciones, un 60% de las unidades clasificadas dan cuenta de la tendencia tradicional y un 30% de la tendencia constructivista.

E. Conocimiento sobre las Estrategias de Enseñanza

Para describir esta categoría utilizamos tres subcategorías: tipo de estrategias discursivas y actividades (D1), secuencia didáctica (D2) y los tipos de representaciones de los contenidos (D3).

En la secuencia que sigue el profesor el primer año (D2), se preocupa por averiguar qué piensan los estudiantes. Sin embargo la constante en su proceder metodológico es: i) preguntar siempre a los estudiantes sobre lo que consideran que sucede para una situación propuesta antes de dar la respuesta, ii) plantear las explicaciones como generalizaciones de una situación problema o ejemplo propuesto, iii) aplicar lo aprendido y iv) evaluar. Un ejemplo de esta secuencia se representa en la figura 1. En todos los casos P denota las acciones del profesor y E(s) las acciones de los estudiantes.

**Figura 1.** Secuencia de Enseñanza 2010-2011**Figura 2.** Secuencia de Enseñanza 2011-2012

De forma general, el profesor tiende siempre a validar todo lo que los estudiantes expresan antes de continuar con el discurso planificado y, en ocasiones, pasa por alto las dificultades de comprensión que los estudiantes presentan. Zabala (2000), señala que este tipo de secuencias al estar centrada en el profesor, genera que sólo los estudiantes que participan, sean los únicos involucrados en el proceso de configuración de las explicaciones.

Las representaciones (D3) utilizadas en clase son figurativas acompañadas de símbolos positivos y negativos que dan cuenta de la naturaleza eléctrica de la naturaleza. El profesor aclara que *“la asignación del símbolo más (+) para representar un cuerpo cargado positivamente no implica la ausencia de electrones”*. Las estrategias que el profesor considera el segundo año de enseñanza, después de la intervención siguen siendo las convencionales (D1): clase magistral, el desarrollo de ejercicios/ problemas y laboratorios.

El cambio fundamental durante el segundo año en esta categoría se da en la secuencia de enseñanza (D2), debido a la inclusión de actividades a desarrollar por pequeños grupos y el permitir que en algunos momentos de la clase, los estudiantes asuman el rol del profesor, para propiciar espacios de construcción de explicaciones. Como se representa en la figura 2, son los

estudiantes los que validan sus propias explicaciones a través de la exposición de sus ideas para que el profesor luego generalice y corrija las ideas expuestas. Esta forma de proceder es llamada por De Longhi *et al.* (2012) diálogo controlado, descrito como un proceso dialógico en el cual el profesor solicita el saber de los estudiante y pone en escena estrategias para incentivar su participación.

Para finalizar la descripción de los resultados, a continuación describiremos las posibles causas que el profesor identifica para dar cuenta de obstáculos y cambios en su CDC sobre la enseñanza de la carga eléctrica.

Cambios y Obstáculos en el CDC

Para describir los obstáculos al desarrollo y cambio del CDC utilizamos cuatro categorías: diseño de las actividades de enseñanza (OBST-1); control de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes (OBST-2); nivel de conocimiento del contenido que se enseña (OBST-3); los parámetros estipulados por la institución educativa (OBST-4).

El profesor durante las entrevistas, su diario y la intervención se dedica a valorar más los obstáculos (65.7%) que los cambios que realiza sobre las distintas componentes del CDC (6.3%). Los mayores obstáculos alrededor de su enseñanza se centran en el nivel de conocimiento que tiene sobre el contenido que enseña (OBST-3), el diseño de las actividades (OBST-1), especialmente las referidas a la evaluación, el tiempo del que dispone para desarrollar lo que declara, la organización de los contenidos y las intenciones de enseñanza.

El profesor es consciente de que no se puede enseñar algo que no se conoce. Por otro lado, los años de experiencia en la enseñanza en bachillerato lo han dotado de gran seguridad hacia los modelos que lleva al aula. Sin embargo el profesor pocas veces pone en juego su conocimiento sobre la disciplina con otros profesores, lo cual valora como muy positivo durante la investigación, aunque la identificación de «*los propios errores*» como el profesor los llama, sobre lo que dice alrededor de la carga, es una tarea que presenta gran dificultad.

Aunque factores como el tiempo y la institución condicionan su hacer (OBST-4), el profesor indica que su idea por incluir siempre un laboratorio, y su propia actitud frente a la rutina en la que se siente inmerso, condicionan su CDC. También señala como factor condicionante la resistencia al cambio que percibe por parte de sus estudiantes sobre sus concepciones sobre la física, como matemática aplicada (OBST-2).

Con relación a los cambios, determinados por las variaciones en las frecuencias clasificadas para cada categoría y su tendencia representativa, el profesor señala la importancia de reflexionar sobre los objetivos y las intenciones sobre la enseñanza de la carga eléctrica, y a partir de ahí ajustar el diseño de las actividades. Sin embargo el profesor considera que debe mantener actividades y cambiar intenciones, más que incluir nuevos elementos en el aula, por tanto muchas de sus acciones en el aula y, especialmente, aquellas referidas a la evaluación mantienen pocas modificaciones.

Conclusiones y Discusión

Al considerarse el CDC como el corazón del conocimiento profesional, su desarrollo cobra un papel relevante en los procesos de formación y desarrollo profesional del profesorado. Las investigaciones reclaman su presencia de forma explícita en los programas de formación, donde la relación entre los procesos de enseñar y aprender, ontológicamente dependientes uno de otro, se abordan desde diferentes áreas de conocimiento (Michellini *et al.* 2013). Sin

embargo la tarea del desarrollo del CDC no es fácil, ya que cada profesor tiene un perfil único de CDC que cambia y se construye de forma distinta (Kind 2009).

Los resultados de nuestro estudio, muestran que a diferencia de las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias, en sus categorías idea de física, carga eléctrica y calificación, las tendencias que describen mayoritariamente el resto de componente del CDC no evidencian cambios significativos después de la intervención. Lo cual sugiere que los cambios en la práctica de aula son tan resistentes como los cambios en las concepciones del profesorado. Con lo cual los dilemas a los que se enfrenta el profesor frente a lo que piensa, planifica y ejecuta en el aula son los principales obstáculos para el desarrollo del CDC.

Por otro lado la tendencia predominante los dos años consecutivos sobre la idea de enseñanza, aprendizaje y conocimiento curricular es la tradicional. Sin embargo, frente a la naturaleza de las ideas de los estudiantes es la tendencia constructivista la que predomina y en las categorías conocimiento sobre la evaluación y las estrategias de enseñanza, se presenta una mezcla entre tendencias. En este caso, es el contenido que se enseña el que influye en las tendencias predominantes sobre el conocimiento sobre los estudiantes, las estrategias de enseñanza y evaluación. Estos resultados no distan de los presentados por Mulhall y Gunstone (2008) donde se concluye que los cambios en las ideas sobre la enseñanza de las ciencias están relacionados con la idea de física. En su estudio se encuentra que los profesores con una metodología de enseñanza con tendencias constructivistas muestran perspectivas más socio-constructivista hacia la física, y aquellos profesores con una metodología tradicional ven la física como algo a descubrir.

En cuanto al conocimiento curricular, nuestros resultados son similares a los de Solís *et al.* (2012). En su estudio después de la intervención el conocimiento curricular declarado presenta cambios en las tendencias consideradas, pero en la acción se mantiene la tendencia tradicional. Por otro lado, Henze *et al.* (2008), concluyen que los cambios en esta componente del CDC son posibles cuando la tendencia predominante antes de la intervención es la constructivista.

Aunque el profesor reconoce las ideas de los estudiantes durante el desarrollo de las clases, realiza poca identificación de las ideas alternativas y dificultades de aprendizaje. Henze *et al.* (2008) consideran que la falta de identificación de dificultades de aprendizaje se debe a la falta de conocimiento del contenido que se enseña. Sin embargo los resultados generales de esta categoría difieren de los reportados en las investigaciones sobre el desarrollo del CDC (De Jong y van Driel 2004, Henze *et al.* 2008, Orleans 2010), donde es la componente sobre el conocimiento de los estudiantes y las estrategias de enseñanza las que mayores cambios reportan.

La componente de la evaluación es uno de los dominios que menos unidades codificadas tiene (Melo Niño *et al.* 2013). En el caso de Lee y Luft (2008) se concluyó que la razón de la poca importancia dada a la evaluación, se debía a que los profesores nóveles consideran que su conocimiento de los recursos no ha sido integrado del todo a su CDC. En nuestro caso, el tiempo y el examen de selectividad (pruebas saber 11 en Colombia) hacen de la evaluación un ejercicio rutinario.

Siguiendo la clasificación de Cohen y Yarden (2009) sobre los factores del cambio, en internos y externos, en nuestro estudio señalamos como factores internos, el conocimiento sobre el contenido y los hábitos de enseñanza. Entre los externos, el tiempo del que dispone para desarrollar su enseñanza, el plan de estudios y los requerimientos institucionales. Todos ellos recogidos en las investigaciones sobre el desarrollo del CDC (Appleton 2008, De Jong y van Driel 2004, entre otros)

El estudio nos ha permitido poner en evidencia los elementos que permanecen en el CDC y como otros son susceptibles de evolucionar (Vázquez *et al.* (2010). También reivindica la importancia del CDC en la reflexión y la práctica de aula del profesorado, demostrando lo dependiente que es el CDC del propio contenido de enseñanza, un elemento a tener en cuenta en futuras línea de investigación sobre la formación del profesorado. Sin embargo es necesario tener en cuenta que cada profesor amplía su CDC de una forma particular y personal, por tanto cada investigación que se desarrolle debe realizar un mayor énfasis en el conocimiento del contexto y en los aspectos afectivos relacionados con el aprender a enseñar, elementos poco considerado en los estudios sobre el CDC y la formación del profesorado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Gobierno de Extremadura y al Fondo Social Europeo por la financiación recibida para la realización de esta investigación (Proyecto GR15009) así como al Ministerio de Economía y Competitividad de España. Dirección General de Investigación (Proyecto: EDU2012-34140). L.V. Melo Niño agradece a la Universidad de Extremadura la concesión de una beca predoctoral.

Referencias

- Abell S., Rogers M., Hanuscin D. L., Lee M. H., Gagnon, M. J. (2008) Preparing the Next Generation of Science Teacher Educators: A Model for Developing PCK for Teaching Science Teachers. *Journal of Science Teacher Education* 20 (1), 77–93.
- Acevedo J. A. (2009a) Conocimiento Didáctico del Contenido para la Enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia (I): El Marco Teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6 (1), 21-46.
- Acevedo J. A. (2009b) Conocimiento Didáctico del Contenido para la Enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia (II): Una Perspectiva. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6 (2), 164-189.
- Alonzo A. C., Kim J. (2015) Declarative and dynamic pedagogical content knowledge as elicited through two video-based interview methods. *Journal of Research in Science Teaching*, (in press).
- Alvarado C., Cañada F., Garritz A., Mellado V. (2015) Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid-base chemistry at high school. *Chemistry Education Research and Practice* 16, 603-618.
- Appleton K. (2008) Developing science pedagogical content knowledge through mentoring elementary teachers. *Journal of Science Teacher Education* 19, 523-545.
- Bañas C., Mellado, V. y Ruiz, C. (2011) Un programa de investigación-acción con profesorado de secundaria sobre la enseñanza-aprendizaje de la energía. *Educación Química* 22 (4), 332-339.
- Cohen R., Yarden A. (2009) Experienced junior-high-school teachers' PCK in light of a curriculum change: "The cell is to be studied longitudinally." *Research in Science Education* 39 (1), 131–155.
- De Jong O., van Driel J. (2004) Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics. *International Journal of Science and Mathematics Education* 2, 277–491.
- De Longhi A.L., Ferreyra A., Peme C., Bermudez G.M.A., Quse L., Martínez S., Iturralde C., Campaner G. (2012) La interacción comunicativa en clases de ciencias naturales. Un

- análisis didáctico a través de circuitos discursivos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9 (2), 178-195. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/14728>
- Friedrichsen P., Abell S., Pareja E., Brown P. (2009) Does Teaching Experience Matter? Examining Biology Teachers Prior Knowledge for Teaching in an Alternative Certification Program. *Journal of Research in Science Teaching* 46 (4), 357–383.
- Furió C., Guisasola J. (1998) Dificultades del aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias* 16 (1), 131-146.
- Garritz A., Mellado V. (2014) El conocimiento didáctico del contenido y la afectividad. En A. Garritz, S. F. Daza y G. Lorenzo (eds.): *Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamericana* (pp. 229-264). Saarbrücken, Alemania: Editorial Academia Española.
- Henze I., van Driel J. H., Verloop N. (2008) Development of Experienced Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Models of the Solar System and the Universe. *International Journal of Science Education* 30 (10), 1321–1342.
- Hume A., Berry A. (2013) Enhancing the Practicum Experience for Pre-service Chemistry Teachers through Collaborative CoRe Design with Mentor Teachers. *Research in Science Education* 43 (5), 2107-2136.
- Jiménez-Aleixandre M. P. (2000) Modelos Didácticos. En Perales, F.J. y P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las Ciencias* (pp. 165-186). España: Ed. Marfil. Alcoy.
- Kind V. (2009) Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education* 45 (2), 169-204.
- Lee E., Luft J. A. (2008). Experienced secondary science teachers' representation of pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education* 30, 1343- 1363.
- Loughran J., Mulhall P., Berry A. (2004) In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching* 41 (4), 370–391.
- Magnusson S., Krajcik J., Borko H. (1999) Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. En Gess-Newsome, J. y Lederman, N (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. (pp. 95-132) Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publisher.
- Mellado V., Borrachero A.B, Brígido M., Melo L.V., Dávila M.A, Cañada F., Conde M.C., Costillo E., Cubero J., Esteban R., Martínez G., Ruiz C., Sánchez J., Garritz A., Mellado L., Vázquez-Bernal B., Jiménez R., Bermejo M.L. (2014) Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 32 (3), 11-36. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Melo Niño L.V., Cañada F., Mellado, V., Díaz M., Melo D. (2013). La evaluación como componente de análisis del conocimiento didáctico del contenido en el caso del campo eléctrico. *Campo Abierto. Revista de Educación* 32 (2), 173-192.
- Michellini M., Santi L., Stefanel A., Udine U. (2013) La formación docente: un reto para la investigación. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias* 10 (Núm. Extraordinario), 846–870. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/15611>

- Mulhall P. y Gunstone, R. (2008) Views about Physics held by Physics Teachers with Differing Approaches to Teaching Physics. *Research in Science Education* 38 (4), 435–462.
- Orleans A. V. (2010) Enhancing Teacher Competence through Online Training. *The Asia-Pacific Education Researcher* 19 (3), 371–386.
- Porlán R., Martín del Pozo R., Rivero A., Harres J., Azcárate Z., Pizzato, M. (2011) El cambio del profesorado de ciencias II: Itinerarios de progresión y obstáculos en estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias* 29, 353-370. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/enscien/v29n3.1113>
- Rozenszajn R., Yarden, A. (2013) Expansion of Biology Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) During a Long-Term Professional Development Program. *Research in Science Education* 44 (1), 189–213.
- Seung E., Bryan L. A., Haugan, M. P. (2012) Examining Physics Graduate Teaching Assistants' Pedagogical Content Knowledge for Teaching a New Physics Curriculum. *Journal of Science Teacher Education* 23 (5), 451–479.
- Solís E., Porlán R., Rivero A. (2012) ¿Cómo representar el conocimiento curricular de los profesores de ciencias y su evolución? *Enseñanza de las Ciencias* 30 (3), 9–30. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ec/v30n3.676>
- Van Driel J. H., Jong O. de, Verloop N. (2002) The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Education* 86 (4), 572–590.
- Vázquez-Bernal B., Jiménez R., Mellado V. (2010) Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*. 28(3), 417-432. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ec/v28n3.115>
- Vázquez-Bernal B., Mellado V., Jiménez R., Taboada C. (2012) The process of -change in science teachers' professional development: A case study based on the types of problems in the classroom. *Science Education* 96 (2), 337-363.
- Zabala A. (2000) *La práctica educativa. Cómo Enseñar*. Grao: Barcelona.

Anexo 1

COMPONENTE DEL CDC	CATEGORÍAS
A. Visión y Propósitos sobre la enseñanza de las Ciencias	A1. Visión de Física
	A2. Visión de Aprendizaje
	A3. Visión de Enseñanza
B. Conocimiento del Currículo	B1. Contenidos
	B2. Organización de los contenidos y su importancia
	B3. Fuentes y Recursos
	B4. Objetivos de Aprendizaje
C. Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes acerca del Campo Eléctrico	C1. Naturaleza de las Ideas de los Estudiantes
	C2. Cambio o refuerzo en las ideas de los estudiantes
	C3. Participación y motivación
D. Conocimiento sobre la Evaluación	D1. Finalidad de la Evaluación
	D2. Objeto de la evaluación
	D3. Quiénes participan en la evaluación
	D4. Tipos de Evaluación
	D5. Diseño, Organización e Instrumentos de evaluación
	D6. Calificación
E. Conocimiento sobre las Estrategias de Enseñanza	E1. Tipo de estrategias discursivas y actividades
	E2. Secuencia Enseñanza
	E3. Tipos de representación de los contenidos